

Untersuchungen zur Pankreasfunktionsdiagnostik

von
Uwe Kleen
aus Berlin

1967



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Medizinischen Klinik mit Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
ehemaliger Direktor:
Professor Dr. med. Dr. med. h.c. N. Henning

und

der Klinik für innere Krankheiten, Sanatorium
Frankenland, Bad Windsheim
Chefarzt: Professor Dr. med. K. Heinkel

Untersuchungen
zur Pankreasfunktionsdiagnostik

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Uwe Kleen
aus Berlin

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen
Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan : Prof. Dr. med. K.G. Ober
Referent : Prof. Dr. med. K. Heinkel
Korreferent : Prof. Dr. med. Dr. med. h.c. N. Henning

Tag der mündlichen Prüfung : 8.4.1967

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Material und Methodik	5
Saugapparatur	5
Mechanik des Sauggerätes	7
Elektrisches Steuergerät	11
Spannungsstabilisation	14
Registriergeräte	16
Untersuchungen	17
Ergebnisse	19
Einfluß der Schlauchlänge auf die Sauggeschwindigkeit	22
Einfluß der Hubhöhe auf die Sauggeschwindigkeit	24
Einfluß der Viskosität auf die Sauggeschwindigkeit	26
Darmsaftabsaugung am Patienten	26
Volumenkurven der Darmsaftförderung	33
Bestimmung der durch Säure austreibbaren CO_2	36
Meßanordnung	38
Lösungen	39
Technik der Bikarbonatbestimmung	39
Herstellung der Eichkurve	41
CO_2 -Bestimmung im Duodenalinhalt	43
Ergebnisse	44
Diskussion	52
Zusammenfassung	75

Die intraduodenale Funktionsdiagnostik des Pankreas begann Anfang dieses Jahrhunderts mit Einführung der Duodenalsondierung durch EINHORN. Im Vordergrund stand die fraktionierte Gewinnung von Duodenalsaft und die Bestimmung der Fermentaktivität in einzelnen Proben, zunächst ohne besondere Reizung der Bauchspeicheldrüse. Man sah eine erhebliche Streuung der Werte für die Fermentaktivität. In den 20iger und 30iger Jahren wurden dann verschiedene Sekretionsreize angewandt. Wegen des sehr hohen Arbeitsaufwandes und der geringen Koordinierbarkeit zum pathologisch-anatomischen Substrat hat man diese Untersuchung vor 20 Jahren weitgehend verlassen. Mit der Entdeckung des Pankreozymin durch HARPER und RAPER (1943) wurde erneut die Anregung gegeben, die spezifischen Sekretionshormone, das seit 1903 bekannte Secretin und das neuentdeckte Pankreozymin, zur Funktionsdiagnostik zu verwenden. In der Arbeitsgruppe um DREILING und JANOWITZ wurde als wichtigstes Kriterium der Pankreasleistung die maximale Bikarbonatkonzentration, die nach Gabe der Sekretions-

hormone im Duodenalsaft nachweisbar war, verwertet. Die Fermentkonzentration vernachlässigte man über längere Zeit. SARLES betonte, daß die Lipaseaktivität im Nüchternsekret wichtige Hinweise gibt, um eine chronische Pankreasinsuffizienz zu erkennen. Die Entwicklung der synthetischen Substrate für Trypsin, Chymotrypsin und Carboxypeptidase führte dann dazu, sich wieder mit erhöhter Aufmerksamkeit den Fermentaktivitäten im Duodenalsaft zu widmen. Die 10-Minuten-Fraktion wurde verlassen und z.B. von HENNING und SCHÖN die 30-Minuten-Fraktion als integrierter Wert bevorzugt. Man glaubte mit einem Sammelsekret die Fehler der rhythmischen Sekretion der Fermente weitgehend auszuschalten. Die Untersuchungsdauer wurde dabei bis über 3 Stunden ausgedehnt, so daß noch eine größere Zahl von Proben zu analysieren war. Der Arbeitsaufwand vermehrte sich durch notwendige Vorproben, da mit den synthetischen Substraten nur ein kleiner Aktivitätsbereich erfaßt werden konnte. Das Bikarbonat verlor zunächst im deutschsprachigen Arbeitsbereich an Bedeutung, obwohl DREILING und JANOWITZ betonten, daß die maximale Bikarbonatkonzentration im Duodenal-

samt wichtige Hinweise für die Intaktheit des Drüsenorganes liefert. Es ist bekannt, daß das Bikarbonat durch Sekretinreiz in den Isthmen der Gänge freigesetzt wird. Nach DOERR läßt sich hier die Karboanhydrase besonders nachweisen. Man bezeichnet diesen Sekretfluß als Hydrochylie mit hohem Bikarbonatgehalt, geringer Fermentaktivität und großen Flüssigkeitsmengen. Demgegenüber entsteht die Proteochylie nach Pankreozyminreiz mit einer exzessiven Fermentanreicherung. Ein Summationsreiz, z.B. durch Freisetzung der physiologisch im Duodenum vorkommenden Hormone, muß naturgemäß zur kombinierten Hydro- und Proteochylie führen. Andererseits findet man auch nach Sekretinreiz Fermentsekretionssteigerungen, die als Auswascheffekt gedeutet werden. Sekretin ist präparatorisch nicht vollständig vom Cholezystokinin zu trennen, das die Gallenblase zur Entleerung anregt. Gallensäuren im Duodenum setzen wiederum die Sekretionshormone frei, so daß sich in vivo die Partialfunktionen des Pankreas nicht isoliert erfassen lassen. Die Selbststeuerung der Sekretion spielt somit, auch bei parenteraler Reizung mit isolierten Sekretionshormonen eine bedeutende Rolle.

In 30 Minuten erfaßt man eine rhythmische Tätigkeit mit einer unbekannten Zahl von Sekretionsschüben. Diagnostisch vorteilhaft erscheint es, wenn man bei einer Funktionsprüfung Zahl und Größe der Sekretionsschübe, und damit den Funktionszustand der Organe, unter angenähert physiologischen Bedingungen erfaßt. Das Duodenalsekret enthält zusätzlich Anteile von Galle, die durch Gallenblasenkontraktion entleert werden. Ein Fehler der intraduodenalen Fermentdiagnostik ergibt sich auch durch den Zufluß von Magensekret. Dieser Fehler sollte sich durch ständiges simultanes Absaugen vermindern lassen. Eine kontinuierliche pH-Messung würde erlauben, den Übertritt sauren Mageninhaltes in das Duodenum zu kontrollieren. Mit einer Bestimmung des Gallenfarbstoffgehaltes kann der Anteil der Galle im Duodenalinhalt geschätzt werden. Den Bilirubingehalt in einer Sammelfraktion zu messen bedeutet jedoch keinen Vorteil, da man den Anteil am Gesamtssekret und damit die Verdünnung des Pankreassaftes nicht ermitteln kann.

Eine Apparatur, die einen Teil der genannten Faktoren berücksichtigt, sollte bessere Einblicke in die Funktion der Oberbauchorgane, insbesondere

der Bauchspeicheldrüse, ermöglichen. In der vorliegenden Arbeit werden einige Teilfragen zu einer derartigen "Maschine" untersucht.

Material und Methodik:

Es wurde ein Gerät konstruiert, das erlaubte

- 1.) kontinuierlich Sekret abzusaugen,
- 2.) den Saugdruck zu regeln,
- 3.) den geförderten Darmsaft in verschiedenen Gefäßen zu speichern (fraktionierte Analyse),
- 4.) die Lagergefäße zu kühlen (Vermeidung von Fermentaktivitätsverlusten),
- 5.) die angesaugten Volumina über den Sammelzeitraum aufzuzeichnen,
- 6.) die Bilirubinkonzentration während der Sekretsammlung kontinuierlich zu messen,
- 7.) den Darmsaft unter Luftabschluß zu speichern (Vermeidung von CO_2 Verlusten),
- 8.) bei den angesaugten Volumina Gas und Flüssigkeit zu trennen.

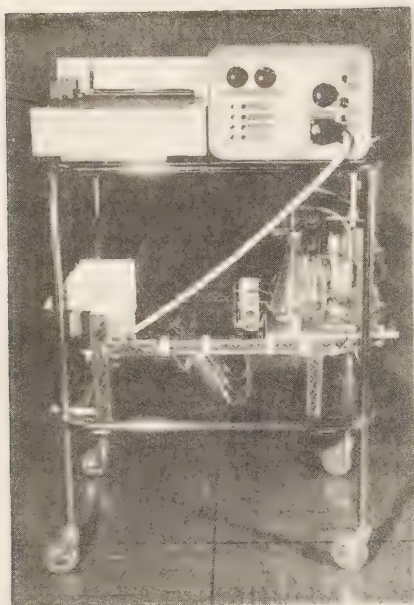


Abb. 1:
Gesamtansicht der
Saugapparatur mit
Steuergerät
und Schreiber.
Das Kühlbecken
ist entfernt, um
die Sammelgefäße
(Glasspritzen)
zu zeigen.

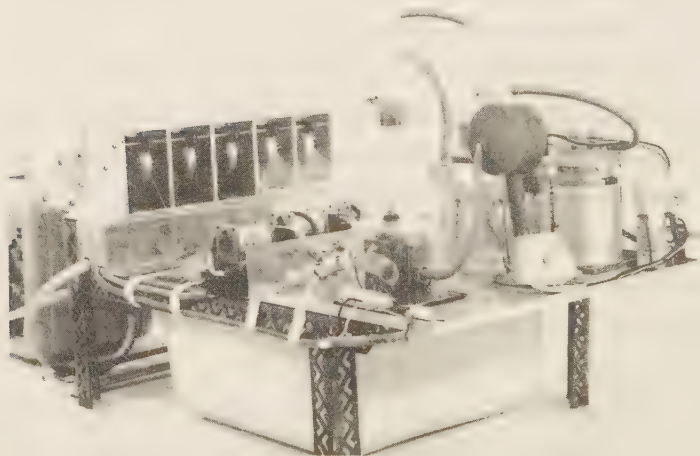


Abb. 2: Mechanisches Sauggerät

Mechanik des Sauggerätes

In einem Gerüst wurden 50 ml Injektionsspritzen mit Federklammern befestigt, so daß sie in einem Kunststoffbecken mit Eiswasser gekühlt werden können, ohne daß die Kühlflüssigkeit die Spritzenkolben berührt. Ein vorgewählter Sog wird durch Gewichtszug an den Spritzenkolben erzeugt. Die Funktion der einzelnen Spritzen steuern wir durch elektromagnetische Bremsen. Ein parallel geschaltetes Magnetventil öffnet den Zulauf des Darmsekretes zu dem jeweils eingeschalteten Sammelgefäß. Der Weg des Spritzenstempels wird über ein Zahnradgetriebe auf ein Potentiometer übertragen und in einer Potentiometerschaltung in eine elektrische Meßgröße umgesetzt.

Auf einer angebauten Plattform erzeugt eine elektrische Membransaugpumpe in einem 300 ml Erlenmeyerkolben einen Unterdruck. Durch einen Dreiweghahn kann dosiert Außenluft zur Regulierung des Unterdruckes einströmen. Über einen Gummischlauch besteht eine Verbindung zu dem Gas- und Flüssigkeitstrenngefäß und dem Anschluß für die



Abb. 3: Saugapparatur mit elektrischem Steuer-
gerät (Mitte) und Schreiber (links)

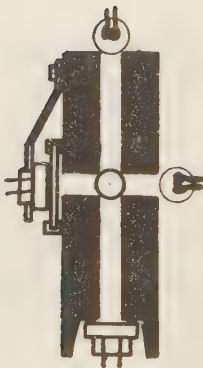


Abb. 4:
Mechanischer Aufbau des
Durchflußkolorimeters

Dünndarmsonde. Die angesammelte Flüssigkeit wird dann in die Auffangspritzen gesaugt. 15 mm über dem Boden des Gefäßes sind 2 Elektroden angebracht. Erreicht die Flüssigkeit am Boden des Gefäßes die Elektroden, so wird ein Stromkreis geschlossen, der über ein Relais einen elektrischen Hahn öffnet. Damit ist dem Darmsaft der Weg zu den Spritzen freigegeben. Wird Gas durch die Sonde gefördert, so wird es durch die Pumpe abgesaugt, bei geschlossenem Zugang zu den Spritzen. Zur photometrischen Bilirubinbestimmung dienen 2 Silizium-Fotozellen in Kompensationsschaltung (Abb. 4). In einem Strahlengang ist ein Filter (560 mμ) eingeschaltet. Gemessen wird die Spannungsdifferenz beider Fotozellen. Zur Nullwert-einstellung ist bei dem Gerät ein Potentiometer vorhanden, über das die Spannung der Fotozelle ohne Filter im Strahlengang geregelt werden kann (Abb. 4 und 5).

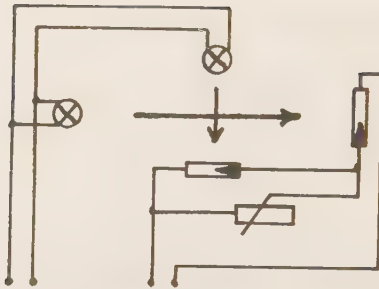


Abb. 5: Kompensationsschaltung der Fotozellen mit Potentiometer zur Nullwerteinstellung.

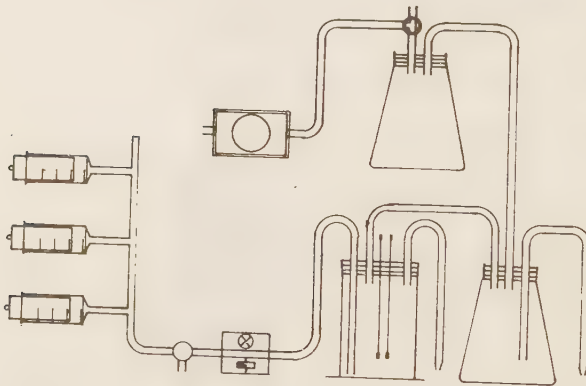


Abb. 6: Schema der Saugapparatur, links Spritzen zur Sekretsammlung, Mitte unten Fotozelle und Trennungsgerät für Gas und Flüssigkeit.

Elektrisches Steuergerät

Zur Stromversorgung für die Elektromagneten der Bremsen und der Ventile erzeugt ein Netztransformator 24 V Wechselstrom. Dieser wird in einer Graetzschaltung gleichgerichtet, durch einen Kondensator geglättet und über 5 Relais jeweils auf ein zusammengehöriges Paar von Bremse und Ventil geschaltet. Die einzelnen Relais werden bei dem Versuchsgerät mit einem Stufenschalter noch von Hand geschaltet. Das Gehäuse des Gerätes enthält einen freien Raum für den vorgesehenen Einbau eines automatischen Schaltwerkes. Die Spannung zum Betrieb der Relais wird von dem 24 V Gleichstrom abgenommen, ein Vorwiderstand läßt an den Relaispulen eine Spannung von 5,5 V übrig. Das Steuergerät enthält außerdem eine elektronisch geregelte Spannungsquelle von 6 V. Dazu gibt ein Netztransformator auf der Sekundärseite 25 V Wechselstrom ab, der in einer Graetzschaltung gleichgerichtet, in einem Kondensator geglättet und in einer Zenerdiodenschaltung konstant auf 6 V gehalten wird (Abb. 7).

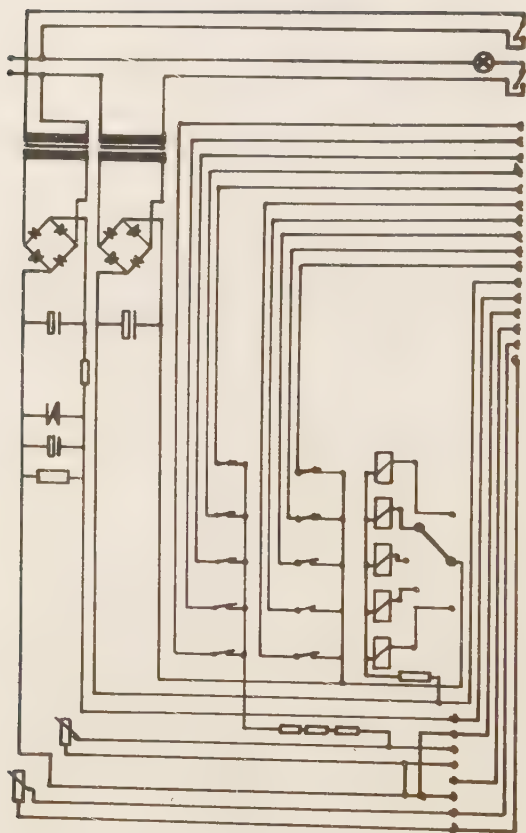


Abb. 7: Schaltplan des elektrischen Steuergerätes.

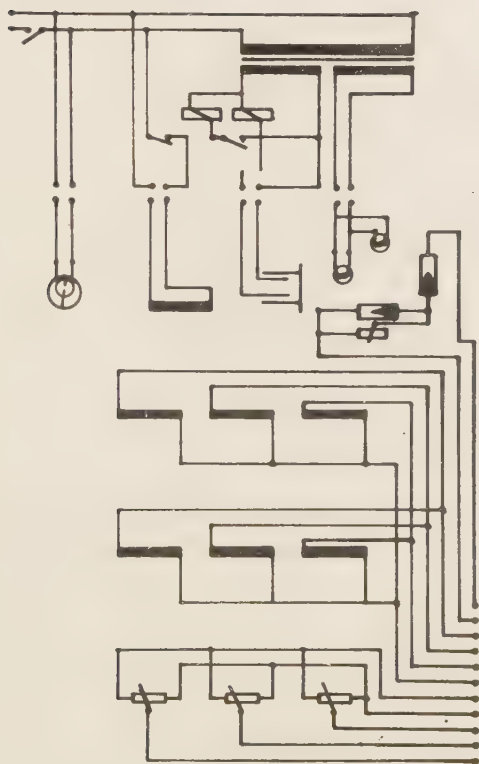
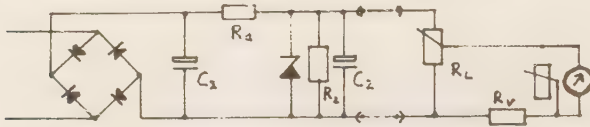


Abb. 8: Schaltplan des Sauggerätes

Spannungsstabilisierung mit Zenerdioden



Bei der Reihenschaltung einer Zenerdiode mit einem Vorwiderstand R_1 wird die Eingangsspannung U_e aufgeteilt in die Zenerspannung U_Z und die Spannung am Vorwiderstand R_1 . Eine Änderung der Gesamtspannung U_e wirkt sich praktisch nur auf die Spannung am Vorwiderstand R_1 aus, weil die Spannung U_Z an der Zenerdiode infolge des steilen Verlaufes der Kennlinie nahezu konstant bleibt. Parallel zur Zenerdiode ist ein Lastwiderstand R_L geschaltet, an dem die Spannung konstant gehalten werden soll.

Berechnung des Vorwiderstandes R_1 :

$$\text{Es gilt} \quad R_1 = \frac{U_e - U_a}{I_Z} = \frac{25 - 6}{0,4} \sim 50$$

U_e = Eingangsspannung

U_a = Ausgangsspannung

I_Z = Zenerstrom

Berechnung des maximalen Zenerstromes $I_{Z \max}$

$$\text{Es gilt} \quad I_{Z \max} = \frac{Q_{\max}}{U_Z} = \frac{7}{6} = 1,1$$

$Q_{\max}$ = maximal zulässige Verlustleistung der Zenerdiode

U_Z = Zenerspannung

Die tatsächlich größte Stromentnahme liegt vor in Endstellung des Meßpotentiometers bei angeschlossenem, mit 30 Ohm geschuntetem, Vitatronschreiber.

Gesamtwiderstand:

Es liegen parallel: R_2 mit 50 Ohm, R_L mit 1 KOhm, in Serie: R_v mit 700 Ohm und der Shunt mit 30 Ohm. Der Innenwiderstand des Schreibers liegt im M-Ohm-Bereich, und kann daher vernachlässigt werden.

$$\frac{1}{R_{\max}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_v + R_{\text{Shunt}}}$$

$$= \frac{1}{50} + \frac{1}{1000} + \frac{1}{730} = 44,6 \quad [\text{Ohm}]$$

$$\text{Maximalstrom} \quad I = \frac{U}{R} = \frac{6}{44,6} = 0,134 \hat{=} 134 \quad [\text{mA}]$$

Die geringste Stromstärke fließt bei 0-Stellung des Meßpotentiometers; der Widerstand beträgt dann:

$$\frac{1}{R_{\min}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L} = \frac{1}{50} + \frac{1}{1000} = \frac{21}{1000} \approx 50 \quad [\text{Ohm}]$$

$$I_{\min} = \frac{U}{R} = \frac{6}{50} = 0,12 \hat{=} 120 \quad [\text{mA}]$$

Der Widerstand R_2 wurde parallel zu R_L geschaltet, damit die Minimalstromstärke $I_{z \min}$ nicht $< 0,1$ Maximalstromstärke $I_{z \max}$ wird. Wird die $I_{z \min} < 0,1 I_{z \max}$, arbeitet die Zenerdiode im Knickbereich der Kennlinie und es kommt zu Spannungsschwankungen. C_1 glättet die pulsierende Gleichspannung der Graetzgleichrichterschaltung.

Die Meßpotentiometer im Saugteil verändern die geregelte Spannung, die zurück in den Steuerteil und über Relais auf den Ausgang zum Schreiber geschaltet wird. Die Meßspannung der Fotozelle wird ebenfalls im Steuerteil auf einen weiteren Ausgang zum Schreiber geschaltet. Der Steuerteil ist über ein 16-adriges Kabel mit einer Steckverbindung mit dem Saugteil verbunden. Für die Versorgung des elektrischen Hahnes, der Elektroden und der Relais des Gasabtrennungsgerätes wurde ein eigener Netztransformator eingebaut.

Registriergeräte

Als Meßgerät verwandten wir einen handelsüblichen 6-Kanal-Punktschreiber der Firma Withof. Er besitzt eine selbständige Umschaltung für die einzelnen Ka-

näle. Der Endausschlag des Meßwerkes liegt bei 20 μ A. In einer gesonderten Versuchsreihe wurde zur Volumenmessung ein "Vitatron"-Meßschreiber mit Transistorkompensationsverstärker verwendet. Der Endausschlag dieses Gerätes liegt bei 10 mV linearer Registrierung.

Untersuchungen

Der Einfluß verschiedener Parameter auf die Sauggeschwindigkeit wurde ermittelt. Um den Einfluß der Viskosität auf die Sauggeschwindigkeit zu bestimmen, saugten wir drei verschiedene visköse Flüssigkeiten mit dem Gerät an (Alkohol, Wasser, Paraffinoel). Bei gleichbleibendem Unterdruck wurde Wasser aus verschiedenen Höhen (+ 75 cm bis - 75 cm) angesaugt, um den Einfluß der Hubhöhe zu prüfen. Eine 2 mm-Duodenalsonde wurde erst in voller Länge durchströmt, dann durch Abschneiden zunehmend gekürzt, um den Einfluß der Sondenlänge zu ermitteln. Durch Veränderung der Zuggewichte wurde

die Abhängigkeit der Fördergeschwindigkeit vom Unterdruck geprüft.

Das Fördervolumen für 3 handelsübliche Sonden bestimmten wir für:

- 1.) Einen Magenschlauch, Länge 77 cm, Lumen 10 mm $\emptyset$,
- 2.) eine einlumige Duodenalsonde, Länge 150 cm, Lumen 2 mm $\emptyset$,
- 3.) eine Doppellumensonde zur gleichzeitigen Absaugung von Magen- und Duodenalsekret; Länge 175 cm, Lumen 1,5 mm $\emptyset$.

Bei 15 Patienten ermittelten wir, ob die Darmsaftförderung mit der Saugapparatur der manuellen Absaugung entspricht. Wir legten eine Duodenalsonde in typischer Weise. Konnte zu Beginn kein Duodenalinhalt gewonnen werden, so erfolgte eine Kontrolle der Sondenlage vor dem Röntgenschirm. Abwechselnd wurde dann 10 Minuten mit dem Sauggerät, dann 2 mal in 5-Minuten-Abständen von Hand mit einer Spritze jeweils so-

lange angesaugt, bis kein Darmsaft mehr gefördert werden konnte. Gleichzeitig kontrollierten wir die frei ablaufenden Volumina.

Bei weiteren 15 Patienten wurden Doppelsonden gelegt und gleichzeitig im Magen und Duodenum mit gleichen Saugdrücken abgesaugt. Die geförderten Darmsaftvolumina registrierten wir dabei kontinuierlich mit dem "Vitatron"-Schreiber.

E r g e b n i s s e

Einfluß der Saugkraft auf die Fördergeschwindigkeit

Bei einem Durchmesser von 27 mm hat der Kolben der Spritze eine Fläche von $5,7 \text{ cm}^2$. Rechnerisch ergibt sich der Unterdruck als Quotient des Zuggewichtes durch die Fläche (Abb. 9). Der gemessene Sog lag deutlich unter den errechneten Werten. Der Druckverlust entsteht durch Zugkraftverminderung, bedingt durch Reibung im Zahnradgetriebe, in den Potentiometern und in den Spritzen. Er entspricht einem Zugkraftverlust

von 450 g. Unter Berücksichtigung dieses Verlustes steigt der gemessene Unterdruck proportional mit dem Zuggewicht an.

Bei den zur Patientenabsaugung verwendeten Drucken maßen wir

an den Spritzen einen Unterdruck von 110 cm H_2O ,
entsprechend 80 mm Hg,
an der elektrischen Saugpumpe 350 cm H_2O ,
entsprechend 260 mm Hg,
an der Sondenmündung, je nach Einstellung des
Druckregelungshahnes, 30 bis 100 cm H_2O ,
entsprechend 22 - 73 mm Hg.

Es wurde mit verschiedenen Zuggewichten der Einfluß des Unterdruckes auf die Fördergeschwindigkeit für einen "Rüsch"-10 mm-Magenschlauch bestimmt (Abb. 10). Die Sauggeschwindigkeit nimmt proportional mit dem Druck zu. Bei Gewichten unter 500 g ergibt sich auf Grund von Reibungsverlusten keine meßbare Fördergeschwindigkeit. Bei Fördergeschwindigkeiten über 5 ml/Sek. kommt es durch Turbulenz in der Sonde zu erhöhtem Strömungswiderstand und damit zur ver-

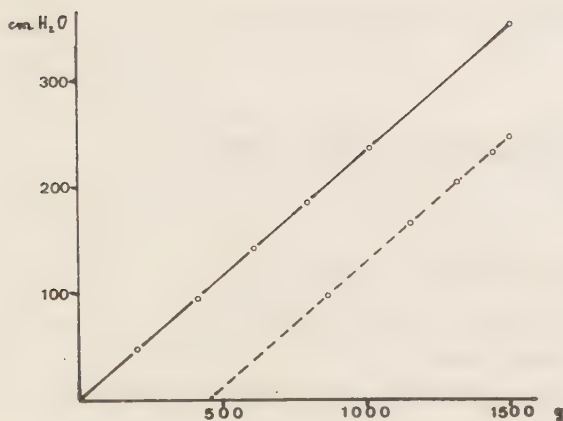


Abb. 9: Errechnete ————— und gewessene - - - - -
Saugdrucke in Abhängigkeit vom Zuggewicht.

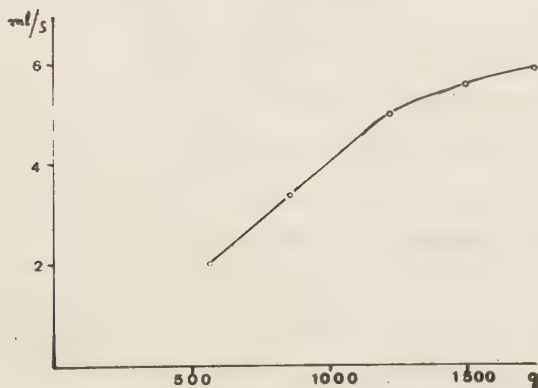


Abb. 10: Sauggeschwindigkeit in Abhängigkeit vom
Zuggewicht Sonde: "Rüsch" 10 mm-Magen-
schlauch.

minderten Zunahme der Fördergeschwindigkeit.

Einfluß der Schlauchlänge auf die Sauggeschwindigkeit.

Der Strömungswiderstand einer Sonde ist von ihrer Länge abhängig. Saugt man Wasser mit einer 2 mm Duodenalsonde mit konstantem Unterdruck an, so steigt die Fördergeschwindigkeit bei Kürzung der Sonde (Abb. 11). Die Sauggeschwindigkeit ist umgekehrt proportional der Schlauchlänge.

Für 3 handelsübliche Sonden wurde die Fördergeschwindigkeit bei gleichbleibendem Unterdruck bestimmt (Abb. 12). Sonden:

- 1.) "Rüsch" Magenschlauch, Länge 77 cm,
Lumen 10 mm $\emptyset$,
- 2.) "Rüsch" Duodenalsonde, Länge 150 cm,
Lumen 2 mm $\emptyset$,
- 3.) "Rüsch 15" 2-Kanalduodenalsonde, Länge 175 cm,
Lumen 1,5 mm $\emptyset$.

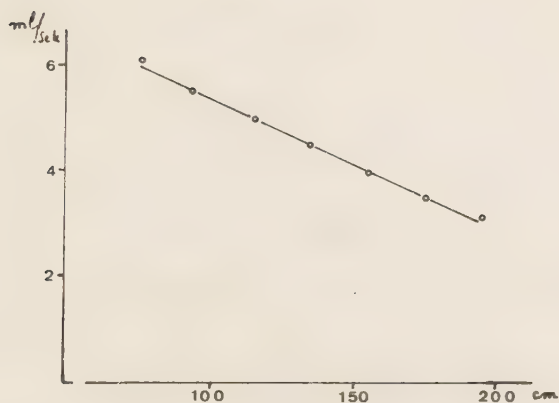


Abb. 11: Sauggeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Sondenlänge

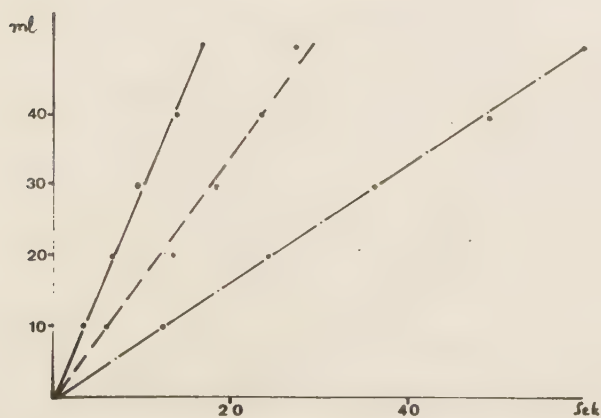


Abb. 12: Fördervolumen in Abhängigkeit von der Zeit

- "Rüsch" 10 mm-Magensonde
- - - "Rüsch" 2 mm-Duodenalsonde
- . - . - "Rüsch" 1,5 mm-Doppelsonde

Einfluß der Hubhöhe auf die Sauggeschwindigkeit

Es wurde mit gleichbleibendem Saugdruck Wasser aus verschiedenen Höhen bzw. im Gefälle angesaugt. Die Meßwerte zeigen, daß Proportionalität besteht zwischen Hubhöhe und Sauggeschwindigkeit (Abb. 13). Diese Beziehung gilt jedoch nur für niedrige Strömungsgeschwindigkeiten (unter 3 ml/Sek.), bei höherer Sauggeschwindigkeit kommt es durch Turbulenz zu vermehrtem Widerstand im Schlauch und damit zu einer verminderten Zunahme der Fördergeschwindigkeit. Turbulenz wird begünstigt durch niedrige Viskosität und hohe Strömungsgeschwindigkeit, große Schlauchquerschnitte und Querschnittsänderungen. Die starke Differenz des Querschnittes zwischen den engen Bohrungen der Olive bei der klinisch meist verwendeten Duodenalsonde und dem Schlauchlumen begünstigt Turbulenz bei bereits 3 ml/Sek. Abb. 10 zeigt, daß im Magenschlauch Turbulenz trotz des größeren Lumens bei 5 ml/Sek. beginnt. Die laminäre Strömung wird durch die große distale Öffnung weniger gestört.

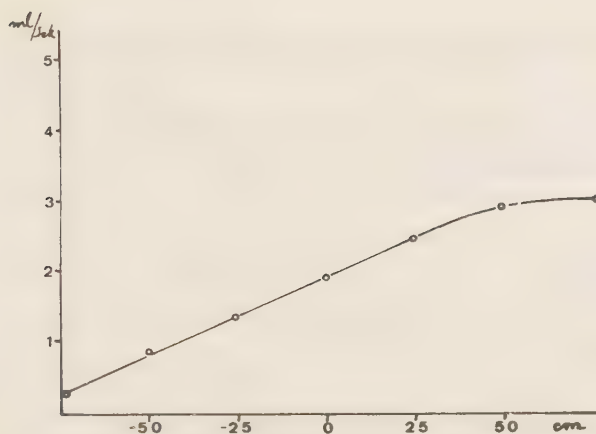


Abb. 13: Korrelation zwischen Fördergeschwindigkeit und Hubhöhe für eine 2 mm-Duodenalsonde.

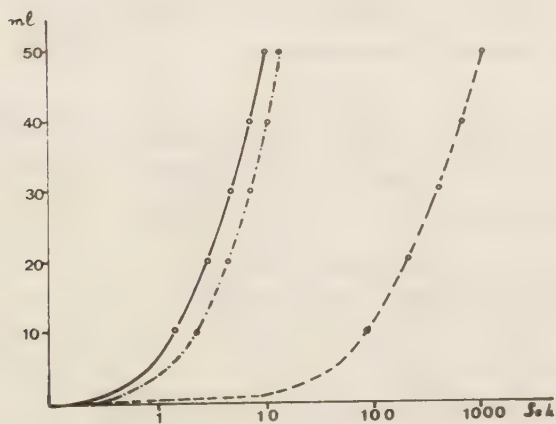


Abb. 14: Einfluß der Viskosität auf die Sauggeschwindigkeit
 — Alkohol, -.-.- Wasser, - - - Paraffinöl

Einfluß der Viskosität auf die Sauggeschwindigkeit

Es wurden 3 verschiedene visköse Flüssigkeiten mit einem Magenschlauch angesaugt (Abb. 14).

Wasser	=	1,0 c P (Centipoise)
Alkohol	=	1,12 c P
Paraffinöl	=	65 c P

Die Messungen beweisen, daß die Sauggeschwindigkeit mit zunehmender Viskosität absinkt. Die starke Krümmung der Kurven im Bereich niedriger Volumina (Abb. 14) ist allein auf den logarithmischen Maßstab der Abszisse zurückzuführen.

Für die Auswertung der registrierten Volumenkurven war die Prüfung der Spannungskonstanz an den Meßpotentiometern erforderlich, insbesondere da große Spannungsschwankungen der haus-eigenen Netzversorgung zu erwarten waren.

Ergebnisse der Darmsaftabsaugungen am Patienten

Bei insgesamt 15 Patienten saugten wir abwechselnd von Hand und mit dem Sauggerät. Die

Untersuchung war so angelegt, daß für jede Art der Absaugung möglichst gleichartige Bedingungen gegeben waren. Bei jedem Patienten wurde insgesamt 1 Stunde Darmsaft gewonnen, abwechselnd 10 Minuten mit dem Sauggerät und 2 mal in 5-Minuten-Abständen von Hand. Zwischen den einzelnen Handabsaugungen ließen wir den Darmsaft frei ablaufen. Insgesamt wurden im Durchschnitt je Patient mit dem Sauggerät 64 ml/30 Minuten, von Hand, im gleichen Zeitraum 33,6 ml/30 Minuten, Darmsaft gewonnen (Abb. 16). Es ergab sich eine Steigerung der Darmsaftgewinnung auf das Doppelte.

Prüfung der Signifikanz des Unterschiedes der abgesaugten Darmsaftvolumina bei manueller und maschineller Absaugung.

Mit den bei der alternierenden Darmsaftgewinnung erhaltenen Daten konnten 2 Verteilungen (a) und (b) durch Differenzbildung der unterschiedlichen Volumina gebildet werden. Wir sind dazu berechtigt, da beide Verteilungen an einen Kollektivträger gebunden sind. Ob sich der Mittelwert

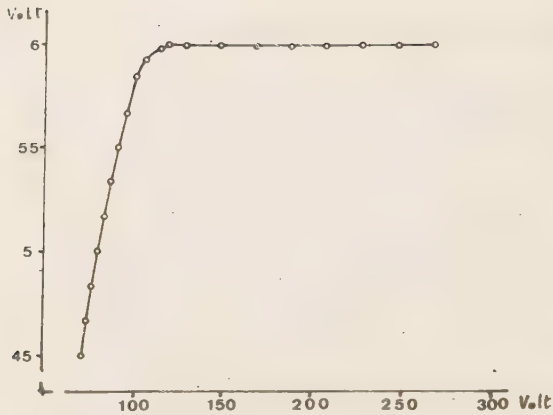


Abb. 15: Stabilisierte Spannung in Abhängigkeit von der Netzspannung
Ordinate: Stabilisierte Spannung.
Abszisse: Netzspannung

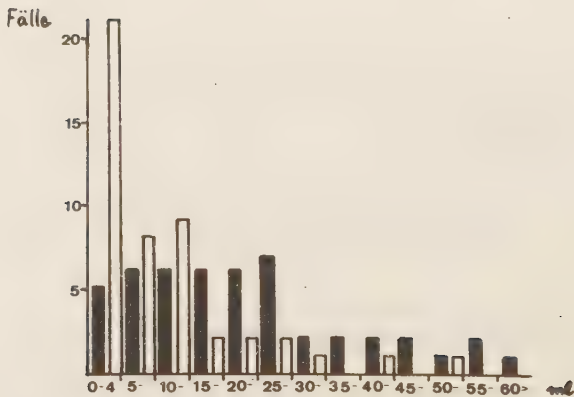


Abb. 16: Häufigkeit der Sekretmengen in einzelnen Fraktionen bei manueller und apparativer Absaugung
○ Absaugung von Hand
● Absaugung mit der Saugapparatur

signifikant von Null unterscheidet wird wie folgt geprüft:

Gegeben die Stichprobe (x), ihr Mittelwert $\bar{x}$, ihre Streuung s^2 und Umfang N .

Mit der Abweichung t suchen wir die Wahrscheinlichkeit P in einer Tafel, die den Zusammenhang zwischen dem Freiheitsgrad n , t und P wiedergibt.

$$t = \frac{\bar{x}}{s_{\bar{x}}}$$

Freiheitsgrad $n = N - 1$ $N = \text{Anzahl der Einzelwerte}$

Mittelwert $\bar{x} = \frac{+ \sum (a - b)}{N}$

$$a - b = x$$

Streuung $s^2 = \frac{+ \sum (x - \bar{x})^2}{N - 1}$

Streuung des Mittelwertes $s_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{N} \cdot s^2$

Standardabweichung des Mittelwertes $s_{\bar{x}} = \sqrt{s_{\bar{x}}^2}$

$$\text{Abweichung } t = \frac{\bar{x}}{s_{\bar{x}}}$$

$$\text{Mittelwert } \bar{x} = 34,6$$

$$\text{Streuung } s^2 = 556,6$$

$$\text{Streuung des Mittelwertes } s_{\bar{x}}^2 = 37,1$$

$$\text{Standardabweichung des Mittelwertes } s_{\bar{x}} = 6,0$$

$$\text{Freiheitsgrad } n = 15 - 1 = 14$$

$$\text{Abweichung } t = 5,7$$

$$\text{Wahrscheinlichkeit } P < 0,001$$

Die höhere Darmsaftförderung mit der Saugapparat-
tur ist danach statistisch signifikant.

Bei einem weiteren Patientenkollektiv von 15
Patienten wurde mit einer "Rüsch 15" Doppel-
lumensonde simultan im Magen und Duodenum ab-
gesaugt. Dabei erzielten wir aus dem Duodenum
durchschnittlich 93 ml/30 Minuten, aus Magen und
Darm zusammen insgesamt im Durchschnitt 112 ml/30
Minuten.

Die geförderten Darmsaftvolumina wurden mit einem Vitatron-Schreiber in Abhängigkeit von der Zeit registriert. Die durch freies Ablaufenlassen gewonnenen Darmsaftvolumina wechselten sehr stark. Bei niedriger Viskosität des Duodenalsaftes maßen wir bis zu 1 ml/Minute entsprechend 30 ml/30 Minuten. Die Fördergeschwindigkeit blieb jedoch über längere Zeit nie konstant. Bei höherer Viskosität war Förderung von Duodenalsaft ohne Absaugen nicht möglich.

Prüfung der Signifikanz des Unterschiedes der geförderten Sekretvolumina mit einfacher Duodenalsonde und der Doppellumensonde:

Wir errechnen die Abweichung t , mit der wir in einer Tabelle die Wahrscheinlichkeit P suchen. t wird durch Division der Mittelwertsdifferenz ($\bar{x} - \bar{x}'$) durch die Standardabweichung s_D der Mittelwertsdifferenz erhalten.

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{x}'}{s_D} \quad (1)$$

Bei kleinen Stichproben wirft man zunächst beide Stichproben zusammen und berechnet ihre gemeinsame Streuung.

$$s_{\bar{x}, \bar{x}'}^2 = \frac{S(x^2) - \bar{x} S(x) + S(x'^2) - \bar{x}' S(x')}{N + N' - 2} \quad (2)$$

Die Standardabweichung der Mittelwertsdifferenz kleiner Stichproben ergibt sich als:

$$s_p = \sqrt{\frac{s_{\bar{x}, \bar{x}'}^2}{N} + \frac{s_{\bar{x}, \bar{x}'}^2}{N'}} \quad (3)$$

Mittelwert $\bar{x} = 112$

Mittelwert $\bar{x}' = 64$

Streuung der beiden Stichproben nach (2)

$$s_{\bar{x}, \bar{x}'}^2 = 1091$$

Standardabweichung $s_D = 12$

Abweichung $t = 4,0$

Wahrscheinlichkeit $P = 0,001$

Die höhere Gesamtförderung mit der Doppellumen-sonde gegenüber der EINHORN'schen Duodenalsonde ist mit einem P von 0,001 statistisch signifikant.

Prüfung der Signifikanz der unterschiedlichen Duodenalsaftförderung mit einfacher Duodenalsonde und Doppellumensonde bei Verwendung der Saugapparatur:

Mittelwert $\bar{x} = 93,$

Mittelwert $\bar{x}' = 64,$

Streuung der beiden Stichproben nach (2) = 1066,

Standardabweichung $S_D = 12,$

Abweichung $t = 2,41,$

Wahrscheinlichkeit $P = 0,03.$

Die höhere Duodenalsaftförderung mit der Doppellumensonde gegenüber der einfachen EINHORN'schen Duodenalsonde ist statistisch signifikant mit einem P von 0,03

Volumenkurven der Darmsaftförderung

Bei 15 Patienten wurde das gewonnene Duodenalsaftvolumen in Abhängigkeit von der Zeit automatisch registriert. Abb. 17 zeigt eine der dabei gewonnenen Registrierungen. Die Kurven beginnen nicht exakt bei Null, da beim Einschalten

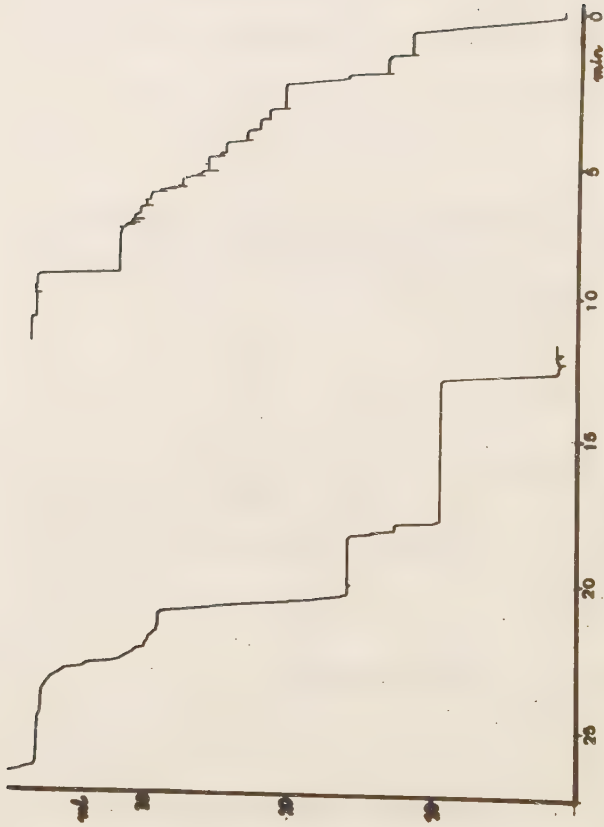


Abb. 17: Mit der Saugapparatur gefördertes Darmsaft-
volumen in Abhängigkeit von der Zeit (Die
Kurve ist von rechts nach links zu lesen).

des Saugdruckes die Luft im Leitungssystem der Absaugeapparatur expandiert. Die nach unten gerichteten Spitzen der Meßkurve entstehen durch Gas- und Flüssigkeitsschwingungen beim Schalten des elektrischen Hahnes des Gasflüssigkeitsstreuungsgerätes. Bei höherem Volumen sind die Spitzen kleiner, da die größere Flüssigkeitsmenge die Schwingungen stärker dämpft. Verläuft die Kurve horizontal, so besagt dieses, daß kein Darmsaft gefördert wird. Der rhythmische Sekretfluß ist damit bewiesen. Man beobachtet einen Wechsel zwischen gleichartigem Sekretfluß und absolutem Stop. Nach initial größeren Schüben kam es zur Duodenalsaftförderung in häufigen kleinen Intervallen (4. bis 8. Minute der Abb. 17). Zeit des Sekretflusses und Ruhepausen werden dann größer. Die Fördergeschwindigkeit bleibt über größere Zeiträume konstant. Der Sekretfluß in den einzelnen Perioden beweist das Förderungsvolumen der Sonde und Saugapparatur mit

> 30 ml/Min.

Intervallshäufigkeit, Sekretfluß bzw. Ausschüttung von Sekret in den einzelnen Phasen sowie Ruhepausen sind registriert und lassen sich zur Funktionsdiagnostik der Sekretionsorgane sowie des dazugehörigen Gangsystemes auswerten.

Bestimmung der durch Säure austreibbaren

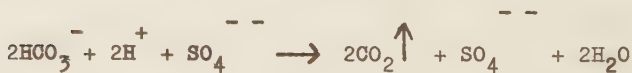
CO₂-Menge

Methode

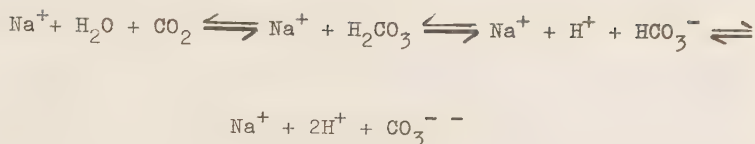
In einer völlig geschlossenen Meßanordnung wird aus der zu untersuchenden Flüssigkeit durch eine stärkere Säure (H₂SO₄) CO₂ ausgetrieben. Mittels einer Luftumwälzung wird die CO₂ durch eine vorgelegte schwache Natronlauge gepumpt.

Umsetzungen:

Austreibung der CO₂



Bindung der CO_2



Massenwirkungsgesetz:

$$\frac{\left[\text{H}^+ \right] \cdot \left[\text{HCO}_3^- \right]}{\left[\text{H}_2\text{CO}_3 \right]} = K_1$$

$$\frac{\left[\text{H}^+ \right] \cdot \left[\text{CO}_3^{--} \right]}{\left[\text{HCO}_3^- \right]} = K_2$$

Die Konstante K_1 ist groß gegenüber K_2 , daher bildet sich zum überwiegenden Teil H^+ und HCO_3^- . Außerdem wird physikalisch Kohlensäure im Wasser gelöst. Die Löslichkeit ist abhängig vom Partialdruck der Kohlensäure, der Temperatur und dem pH der Lösung. Durch die Umsetzung und durch die physikalische Lösung ergibt sich eine pH-Änderung. Die freigesetzte CO_2 -Menge kann aus der veränderten H^+ -Konzentration

ermittelt und auf den Bikarbonatgehalt der untersuchten Flüssigkeit bezogen werden.

Meßanordnung

Das Gefäß zur CO_2 -Entwicklung in unserer Anordnung ist ein Rundglas, durch einen Schliffstopfen mit 3 Durchführungen für den Zustrom der Luft, für das Abströmen des CO_2 -Luftgemisches und für den Zulauf der H_2SO_4 verschlossen. Gummistopfen haben sich uns nicht bewährt, da durch kleinste Undichtigkeiten Gas entweicht mit einer groben Verfälschung der Meßergebnisse. Zur Luftumwälzung verwenden wir eine "Neptun Junior" Pumpe, eine Membranpumpe mit einem Lufteingangsstutzen. Das durchgesetzte Luftvolumen konnte über die Hubgröße des Magneten zwischen Null und 850 ccm/Minute geregelt werden. Der Totraum soll möglichst gering sein. Die handelsüblich eingebauten Ventile reichen zur Richtung des Luftstromes aus; leichte Undichtigkeiten in sich sind bedeutungslos, da in einem allseitig geschlossenen System gearbeitet

wird. Das Reaktionsgefäß zur Aufnahme der Natronlauge hat Durchführungen für den pH-Meßfühler, für ein Thermometer und für den Gaskreislauf. Wir benutzten das handelsübliche *) pH-Meßgerät mit einer Ablesgenauigkeit von 1/40 pH. Mit einem Magnetrührer kann die Lösung durchgemischt werden (Abb. 18).

Lösungen:

NaOH, 0,004 n , 0,005 n, 0,0075 n, 0,01 n

H₂SO₄, 1 n.

NaHCO₃-Lösung, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 mval/l.

Die Bikarbonatlösungen, frisch angesetzt, wurden zur Erstellung der Eichkurven benötigt. Für die Zubereitung sämtlicher Lösungen verwendeten wir nur destilliertes Wasser, das durch Kochen und anschließendes Abkühlen unter Luftabschluß entgast worden war.

Technik der Bikarbonatbestimmung

In das CO₂-Entwicklungsröhrchen werden 5 ml Duodenalsaft und 1 Tropfen "Sab simplex" Anti-

*)pH-Meter E 396 B der Firma Metrohm, Herisau



Abb. 18: Apparat zur Bestimmung der durch Säure
austreibbaren CO_2 -Menge

schaumzusatz gegeben, anschließend wird der Schliffstopfen mit den Durchführungen aufgesetzt. In das pH-Meßgefäß kommen 50 ml 0,004 n bzw. 0,005 n NaOH. Nach Ablesung des Ausgangs-pH zur Kontrolle der Konzentration der NaOH läßt man 5 ml 1n H_2SO_4 in das geschlossene CO_2 -Entwicklungsröhrchen zutropfen und schaltet die Pumpe ein. Je nach eingestelltem Förder-volumen muß die Luft bis zu 8 Minuten umgepumpt werden. Der Magnetrührer garantiert eine sorgfältige Durchmischung der Natronlauge. Anschließend wird das End-pH abgelesen. Eichkurven erlauben aus der pH-Verschiebung direkt auf den Gehalt der Untersuchungsflüssigkeit an CO_2 zu schließen.

Herstellung der Eichkurve.

Verschieden konzentrierte NaOH-Lösungen werden durch entsprechende Verdünnung einer Standardlösung hergestellt. Kurz vor jeder Messung wird Standardbikarbonatlösung aus kristallinischem

NaHCO_3 bereitet. Für 7 verschiedene Bikarbonatkonzentrationen wird die jeweilige pH-Änderung bei 4 verschieden konzentrierten NaOH-Lösungen in Dreifachbestimmungen gemessen. Da die Eichkurven nicht geradlinig verlaufen, müssen für die einzelnen Ausgangswerte mehrere Kontrollpunkte bestimmt werden, um so zur integrierten Eichkurve zu kommen. Diese bezieht sich auf das pH, sie gilt daher nur für die benutzten Flüssigkeitsmengen. Kontrollen der Eichkurven sind bei den Bestimmungen nicht erforderlich. Zeitbedarf und Stabilität der Lösungen wurde in verschiedenen Untersuchungen geprüft.

Herstellen der NaOH-Lösung mit pH-Meter-Messungen.

Da für die Bestimmungen ein pH-Meter benötigt wird, können die erforderlichen NaOH-Konzentrationen ohne Volumenmessung auf Grund des zu jeder Konzentration gehörenden pH eingestellt werden. Aus einer Eichkurve kann für jede NaOH-Konzentration das dazugehörige pH im

interessierenden Bereich abgelesen werden.

Um Fehler durch Luftbeimengungen zu schätzen, wurde sowohl Natronlauge als auch NaOH-Na HCO_3 - Na_2CO_3 - Lösung mit Zimmerluft durchperlt.

CO_2 -Bestimmungen im Duodenalinhalt.

Bei der Messung von Bikarbonatkonzentrationen im Duodenalsaft ist es erforderlich, das Ab-
rauchen von CO_2 aus der Untersuchungsflüssig-
keit zu verhindern. Bei Gewinnung des Duodenal-
saftes mit der Absaugeapparatur kommt dieser
nicht mit der Außenluft in Berührung. Um Ver-
luste durch Magensäure auszuschalten, wurde
in einer gesonderten Untersuchungsreihe ge-
trennt Duodenalinhalt und Magensaft abgesaugt.
In den Auffanggefäßen können geringe Mengen
karbonatfreier Natronlauge vorgelegt werden.
Unter diesen Bedingungen erhält man auch bei
leicht sauren Proben zuverlässige Bikarbonat-
werte. Bei insgesamt 45 Patienten mit Verdacht auf
Erkrankungen der Galle, der Leber und des Pankreas
wurden 80 Bikarbonatbestimmungen vorgenommen. Bei

15 Patienten war Duodenalininhalt durch Ansaugen von Hand und freies Ablaufenlassen unter Benutzung der EINHORN'schen Duodenalsonde gewonnen worden. In 30 Fällen verwendeten wir die Saugapparatur. Bei 15 Patienten wurde mit der "Rüsch"-Magen-Duodenal-Doppelsonde gearbeitet.

Ergebnisse

pH-Messungen zeigten, daß verdünnte NaOH-Lösungen in den hier benutzten Konzentrationen unter Luftabschluß über Wochen stabil sind. Die zur Aufstellung der Eichkurven benötigten Bikarbonatlösungen erwiesen sich als nicht haltbar. Sie mußten für jede Meßreihe frisch zubereitet werden. Zum Ansetzen der Lösungen und Reinigung der Meßapparatur sollte nur destilliertes, entgastes Wasser verwendet werden.

Eichkurven:

Abb. 19 zeigt die Eichkurven zur Bikarbonatbestimmung für 4 Natronlaugenkonzentrationen. Die

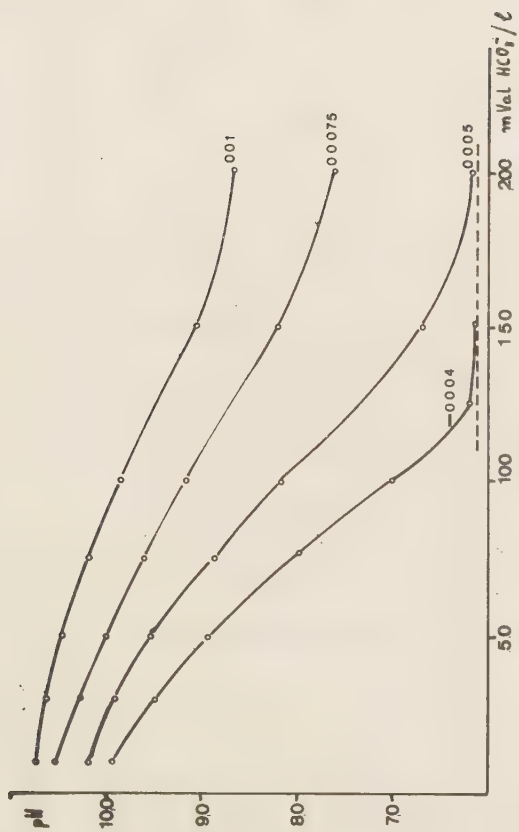


Abb. 19: Die Eichkurven zeigen den Zusammenhang zwischen Bikarbonatkonzentration und pH-Änderung für vier verschieden konzentrierte NaOH-Lösungen.

einzelnen Meßwerte stellen das arithmetische Mittel aus jeweils 3 Bestimmungen dar. Das End-pH unterschritt bei den Messungen niemals pH 6,1, da das Karbonation und das Bikarbonation bei höherer Wasserstoffionenkonzentration nicht mehr stabil sind und als CO_2 entweichen.

Der Meßbereich ändert sich mit der vorgelegten Laugenkonzentration und liegt für eine 0,004 n NaOH zwischen 10 und 125 mval/ HCO_3^- /l. Bei einer Konzentration von 0,005 n NaOH reicht er von 10 - 200 mval/ HCO_3^- /l. Die Verwendung höherer Konzentrationen, wir erstellten auch Eichkurven für 0,0075 n und 0,01 n NaOH, erscheint unvorteilhaft. Einerseits nimmt die Meßgenauigkeit auf Grund der geringeren pH-Änderung ab, andererseits sind die damit meßbaren höheren Bikarbonatkonzentrationen über 200 mval/l physiologisch nicht bei Patientenuntersuchungen zu erwarten.

Zeitbedarf:

Nahezu unabhängig von der Konzentration der NaOH und von der CO_2 -Menge wird nach jeweils 8 Minuten der Endwert der pH-Änderung erreicht (Abb. 20).

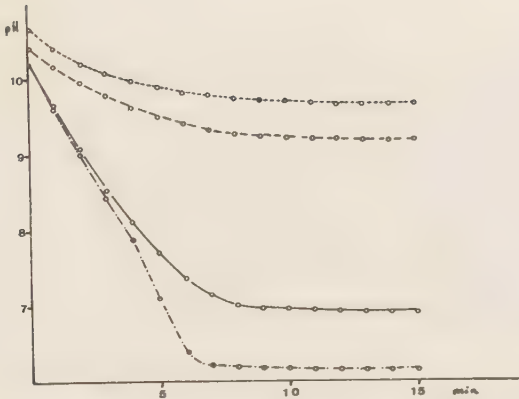


Abb. 20: Änderung des pH-Wertes in Abhängigkeit von der Zeit

- - - - 100 mval $\text{HCO}_3^-/1$, 0,01 n NaOH
 — — — 100 mval $\text{HCO}_3^-/1$, 0,0075 n NaOH
 — — — 100 mval $\text{HCO}_3^-/1$, 0,004 n NaOH
 - . . . - 200 mval $\text{HCO}_3^-/1$, 0,004 n NaOH

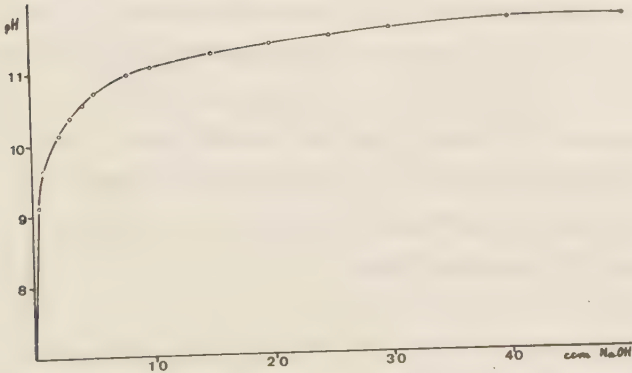


Abb. 21: Wasserstoffionenkonzentration in Abhängigkeit von der Konzentration der Natronlauge
 Abszisse: Zugabe von 0,1 n NaOH zu 50 ccm aqua dest.

Der Zeitbedarf hängt von der Pumpgeschwindigkeit ab. Steigert man die Pumpgeschwindigkeit über 200 ccm/Minute, so stört das Schäumen der Lösung. Durch Zugabe von "Sab simplex liquidum" *) wird die Oberflächenspannung herabgesetzt, so daß auch bei Pumpgeschwindigkeiten von 500 ccm/Minute praktisch kein störendes Schäumen auftritt.

Der durch die Luftfüllung der Apparatur bedingte Fehler wurde bestimmt, indem wir 50 ml 0,004 n NaOH mit Zimmerluft durchperlten. Erwartungsgemäss sinkt das pH gleichmässig, da ein Teil des CO_2 -Gehaltes (0,03-0,05%) der Zimmerluft in der NaOH gebunden wird. Man muß jedoch berücksichtigen, daß wegen der niedrigen Konzentration der NaOH beim Durchperlen der Luft nicht sämtliche Kohlensäure mit der NaOH reagiert. Bei einem Luftvolumen der Meßapparatur von 220 ccm enthält diese 0,066 ccm CO_2 entsprechend 1 mg CO_2 . Bei dem von uns verwendeten Darmsaftvolumen von 5 ccm ergibt sich aus dem CO_2 -Gehalt der Luft in der Apparatur ein Fehler von maximal + 5 mval HCO_3^- /l.

*) Firma Parke-Davis & Company

Der Zusammenhang zwischen NaOH-Konzentration und pH ist in Abb. 21 wiedergegeben. Nach dieser Kurve können unter Benützung eines pH-Meters bestimmte NaOH-Konzentrationen hergestellt werden. Wird die Lösung durch Verdünnung einer Standardkonzentration bereitet, so ist der Ausgangs-pH-Wert ein gutes Kriterium für die aktuelle Konzentration der Lösung.

Bikarbonatbestimmung im Duodenalsaft

Die Gebrauchsfähigkeit der Methode wurde in 80 Einzelmessungen bei der Bikarbonatbestimmung von Darmsaftproben geprüft. Bei 30 Patienten wurde das Untersuchungsmaterial durch kontinuierliche Absaugung unter Luftabschluß gewonnen. Bei 15 Patienten davon wurde mit der EINHORN'schen Duodenalsonde allein, bei weiteren 15 Untersuchungen mit der "Rüsch 15" Doppellumensonde gleichzeitig im Magen und Duodenum abgesaugt. Von weiteren 15 Patienten gewannen wir Duodenalsaft durch freies Ablaufenlassen und gelegentliches Ansaugen von Hand. Der durchschnittliche Bikarbonatgehalt von Duodenalsaft betrug ohne spezifische

Reizung des Pankreas bei der Absaugung von Hand 28,7 (4 - 62) mval HCO_3^- /l, bei maschineller Absaugung mit der einfachen Duodenalsonde 40,3 (14 - 65) mval HCO_3^- /l, bei maschineller Absaugung mit der Doppellumensonde 33,0 (5-60) mval HCO_3^- /l (Abb. 22). Der Meßfehler wurde durch Reihenmessungen mit frisch zubereiteten Bikarbonatstandardlösungen bestimmt. Er beträgt $\pm 0,1$ pH. Dieser Wert entspricht bei Verwendung der 0,004 n NaOH maximal ± 3 mval HCO_3^- /l, bei Verwendung der 0,005 n NaOH maximal ± 10 mval HCO_3^- /l. Wird 0,01 n NaOH Lösung benutzt, so wächst der Fehler bei hohen HCO_3^- - Konzentrationen nur bis auf ± 12 mval HCO_3^- /l.

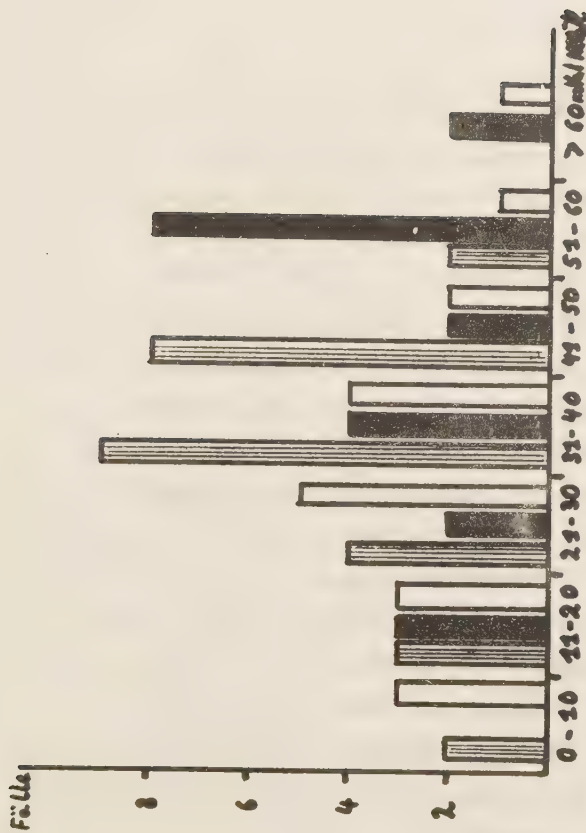


Abb. 22: Verteilung der Bikarbonatkonzentration im Duodenalinhalt

- Handabsaugung "Rüsch" 2 mm-Duodenalsonde
- Maschinelle Absaugung "Rüsch" 2 mm-Duodenalsonde
- ▨ Maschinelle Absaugung "Rüsch" 15" Doppellumensonde

D i s k u s s i o n

Die EINHORN'sche Duodenalsonde ist weit verbreitet zur Diagnostik von Gallenwegs- und Pankreaserkrankungen. Technische Probleme der Flüssigkeitsförderung spielen bei qualitativen Aussagen, wie z.B. Bakteriennachweis im oberen Dünndarm und Konzentrationsbestimmungen von Fermenten, Bikarbonat und anderen Substanzen im Duodenalsaft praktisch keine Rolle. Da das Konzentrationsvermögen allein noch keinen beweisbaren Rückschluß auf die Leistung eines Organs zuläßt, berechnete man die gesamte Mengenproduktion z.B. für Fermente der Bauchspeicheldrüse für einen bestimmten Zeitraum (HENNING, SCHÖN, RÄSSLER). Auch in der Magendiagnostik ist man von den Konzentrationsbestimmungen der Säure zur Erfassung der produzierten Säuremenge übergegangen. Die Prüfung einiger technischer Funktionen verschiedener Sonden hat somit allgemeine Bedeutung in der gastroenterologischen

Diagnostik. Die wesentlichen Charakteristika der Sonden für die Untersuchungen des Magen-Darm-Traktes sind Länge, äußerer und innerer Durchmesser, Größe und Form der distalen Öffnung sowie die Biegsamkeit. Teilweise werden metallene Vorläufer an der Sondenspitze angebracht, um den Durchtritt z.B. durch den Pylorus zu erleichtern.

Eine dünnkalibrige Sonde wie die EINHORN'sche Duodenalsonde (Rüsch) wird bei einem äußeren Durchmesser von 4 mm meist ohne wesentliche Beschwerden vom Patienten geschluckt und über längere Zeit toleriert. Technisch ist von Bedeutung, daß nur über eine Metallolive eine Verbindung zwischen Darm-lumen und Sondenlumen besteht. Die Olive besitzt 6 radiale und 1 axiale Bohrung mit einer Gesamt-querschnittfläche von $9,8 \text{ mm}^2$. Da der Strömungswiderstand proportional mit der vierten Potenz des Radius abnimmt, läßt sich berechnen, daß bei dieser Anordnung der Bohrungen der gesamte Strömungswiderstand um den Faktor 5 größer ist als bei einer einzigen Bohrung mit dem gleichen Gesamtquerschnitt. Die kleinen Einzel-

löcher wirken besonders dann auf den Flüssigkeitsstrom hemmend, wenn visköse, fadenziehende, schleimhaltige Flüssigkeit gefördert werden soll. Als nachteilig erweist es sich, daß bei kontinuierlichem Ansaugen die Flüssigkeitsförderung des öfteren plötzlich unterbricht. Es ist zu vermuten, daß die Olive sich an der Magen- oder Duodenalwand festsaugt. Für diese Annahme spricht auch die Tatsache, daß die Flüssigkeitsförderung meist wieder einsetzt, wenn man die Sonde etwas herauszieht oder Luft einbläst.

Nach DREILING und JANOWITZ verlangt die Untersuchung der exkretorischen Pankreasfunktion gleichzeitig eine Sondierung von Magen und Darm. Ob dieses mit zwei getrennten Sonden geschieht oder ob eine Doppellumensonde verwendet wird, ist nach den Autoren bedeutungslos. Das Kaliber der Katheter soll jedoch so groß sein, daß sowohl Magensaft als auch Duodenalsaft vollständig abgesaugt werden können. Erfolgt keine quantitative Absaugung des Magensaftes, so kommt es zu Verfälschungen der Messungen durch Stimulierung des körpereigenen Sekretins durch Säuerung des Duodenal-

inhaltes und auch zur Austreibung des Bikarbonates. SARLES und MERCADIER verwenden zum leichteren Einführen eine Gummisonde, die mit einem Mandrin versehen ist. Sie verlangen die röntgenologische Kontrolle der Lage der Olive vor und nach der Absaugung. Bei Verwendung von Sekretin und bei Messung der Volumina sowie der Bikarbonatkonzentration fordern auch sie eine doppelte Absaugung. Zur simultanen Förderung von Magensaft und Duodenalinhalt verwendeten wir die "Rüsch 15" Doppellumensonde. Beide Lumina mündeten bei ihr in 8 bzw. 13 großen ovalen Löchern. Sie ist mit einer Vorläufer-Metallolive an einer 8 cm langen Schnur versehen. Da die Sonde weniger flexibel ist, als die einfache Duodenalsonde, ergeben sich bei der Pyloruspassage häufiger größere Schwierigkeiten. Vor dem Röntgenschirm war zu erkennen, daß die Sonde leicht bis in den Magen gelangt, jedoch nur erschwerte den Pylorus passierte. 10 mg Metoclopramid i.v. (Paspertin) erleichterten auch bei uns in einigen Fällen die Pyloruspassage (K.SICKINGER et al.). Es gelang uns aber nicht, die Pyloruspassage bei jedem Patienten zu erzwingen,

auch wenn kein organisches Hindernis bestand.

Für die diagnostische Auswertung von Funktionsresultaten wird das Förderungsvolumen der verschiedenen Sonden meistens vernachlässigt. Prüft man die technischen Besonderheiten von Duodenalsonden auf verschiedene Parameter, so lassen sich typische Gesetzmäßigkeiten beweisen. Das wichtigste Strömungsgesetz, das Hagen-Poiseuille'sche Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen der Strömungsgeschwindigkeit $\frac{v}{t}$ = i, dem Druck p, dem Radius des Rohres r, der Rohrlänge l und der Viskosität n. Es gilt für Rohre mit konstantem, kreisförmigem Querschnitt bei laminarer Strömung:

$$\frac{v}{t} = i = \frac{(p_1 - p_2) \cdot r^4 \cdot \pi}{l \cdot n \cdot 8} \quad (1)$$

Bei turbulenter Strömung gilt angenähert:

$$\frac{v}{t} = i = \sqrt{p_1 - p_2} \quad (2)$$

Aus (1) läßt sich ableiten, daß die Sauggeschwindigkeit proportional dem Saugdruck und der 4. Potenz des Radius, umgekehrt proportional der Schlauchlänge

und der Viskosität ist.

Mit dem zur Gewinnung von Duodenalinhalt konstruierten Gerät konnten wir wegen des kontinuierlichen Soges den Einfluß von Viskosität, Schlauchlänge, Schlauchkaliber und Saugdruck auf die Fördergeschwindigkeit untersuchen.

Die Sauggeschwindigkeit war proportional dem wirkendem Saugdruck. Diese Beziehung gilt jedoch nur für niedrige Strömungsgeschwindigkeiten. Bei höherer Geschwindigkeit kommt es im Schlauch zu Turbulenz und damit nach (2) zu stark verlangsamter Strömung. Bereits die Verwendung einer Duodenalsonde mit Metallolive bedingt wegen der kleinen Löcher eine verlangsamte Strömung. Turbulenz wird durch großen Querschnitt, Querschnittsänderung, geringe Viskosität und hohe Fördergeschwindigkeit begünstigt. Es war von praktischer Bedeutung, daß der Übergang der laminaren Strömung in Turbulenz bei starken Querschnittsänderungen bereits bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten beginnt.

Die Untersuchungen bestätigen auch die Erwartung, daß die Sauggeschwindigkeit umgekehrt proportional der Schlauchlänge ist. Beim Ansaugen verschieden visköser Flüssigkeiten ergab sich, daß die Sauggeschwindigkeit bei höherer Viskosität abnahm.

Da das Hagen-Poiseuille'sche Gesetz ideale Bedingungen im physikalischen Sinne voraussetzt, konnte die Abhängigkeit der Fördergeschwindigkeit vom Radius nicht exakt quantitativ gesichert werden. Das Gesetz gilt nur für Rohre mit konstantem Querschnitt, eine Forderung, die weder die Sonden noch die zum Sauggerät gehörenden Schlauchverbindungen erfüllen.

Nach den Untersuchungsergebnissen sollte eine 2-Lumen-Magen-Duodenalsonde zur getrennten Absaugung von Magen- und Duodenalinhalt mit einem automatischen Sauggerät folgende Bedingungen erfüllen. Das Einführen der Sonde und die Magenpassage ist leichter, wenn die Sonde abgestuft flexibel ist. Das Lumen des einzelnen Kanals sollte nicht unter 2,5 mm Durchmesser betragen, da der Radius mit der

4-ten Potenz in den Strömungswiderstand eingeht. Zwei sonst gleiche Sonden mit unterschiedlichen Lumina von 2 und 3 mm Durchmesser hatten einen um den Faktor 5 unterschiedlichen Strömungswiderstand. Bei gleichem Saugdruck fördert die 3 mm Sonde 5 mal mehr Flüssigkeit als die 2 mm Sonde. Jedes der beiden Lumina sollte mindestens in 6 großen ovalen Löchern enden. Es wird so vermieden, daß die Sonde sich im gesamten Bereich festsaugt. Die Wahrscheinlichkeit, daß Darmsaft an der Sonde vorbeifließt wird geringer. Gasbeimengungen zum Darmsaft stören bei Benutzung der Saugapparatur nicht. Der Vorläufer an der Doppelsonde brachte nach unseren Beobachtungen bei der Pyloruspassage keinen Vorteil. Beim Einführen ergeben sich oft Schwierigkeiten. Die röntgenologische Kontrolle zeigt fast gesetzmässig, daß der Vorläufer bei der Pyloruspassage der Sondenspitze folgt und nicht vorausläuft.

Zur Verminderung des Strömungswiderstandes könnte auch daran gedacht werden, das Lumen der Sonden von der 90 cm-Marke an auf etwa 5 mm zu erweitern.

Der größere Außendurchmesser stört nicht, da bei der Duodenalabsaugung sehr selten mehr als 90 cm eingeführt werden. Am Beispiel einer solchen Veränderung der von uns verwendeten "Rüsch 15" Doppellumensonde wurde der Unterschied des Strömungswiderstandes theoretisch ermittelt. Dabei errechnet sich von Radius und Schlauchlänge abhängig ein Widerstand mit dem Faktor W_n :

Lumen: 1,5 mm

Länge: 90 + 85 cm

$$W_n = \frac{90 + 85}{\left(\frac{1,5}{2}\right)^4} = 547$$

Für die veränderte Sonde ergab sich W_v :

Lumen: 1,5 mm, Länge: 90 cm

Lumen: 5 mm, Länge: 85 cm

$$W_v = \frac{90}{\left(\frac{1,5}{2}\right)^4} + \frac{85}{\left(\frac{5}{2}\right)^4} = 283,1.$$

Es zeigt sich, daß der Strömungswiderstand der veränderten Sonde nur wenig mehr als die Hälfte der ursprünglichen Sonde beträgt. Die Einkanalduodenalsonde hat einen entsprechenden Widerstandsfaktor von 175. Dieser geringere Widerstandswert ist durch das Lumen der Sonde von 2 mm im Gegensatz zu 1,5 mm bei der Doppellumensonde bedingt.

Mit der Saugeeinrichtung förderten wir bei kontinuierlicher Absaugung signifikant mehr Duodenalinhalt als mit dem bisherigen Verfahren des freien Abfließenlassens und zusätzlichen Ansaugens gewonnen werden konnte. Durch Absaugen von Hand wurden bei insgesamt 47 10-Minuten-Fractionen durchschnittlich 1,13 ccm/Minute gewonnen. Das Ergebnis stimmt gut mit den in der Literatur angegebenen Werten überein. DREILING und JANOWITZ berichten von durchschnittlich 1 ml/Minute, SARLES fand 1,2 ml/Minute. Durch kontinuierliches Saugen mit dem Sauggerät wurden bei dem gleichen Patientenkollektiv im gleichen Zeitraum durchschnittlich 2,28 ccm/Minute angesaugt. Durch das Sauggerät

konnte somit das doppelte Duodenalsaftvolumen gegenüber der Handabsaugung gewonnen werden. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant. Es ist anzunehmen, daß beim intermittierenden Absaugen von Hand trotz der ständigen Heberwirkung Duodenalinhalt in den Darm abfließt. DREILING und JANOWITZ untersuchten mögliche Verluste von Duodenalinhalt durch Abfluß in das Jejunum für ihr Verfahren, der Kombination von kontinuierlicher und intermittierender Absaugung. Sie benutzten eine Sonde mit 3 Lumina, wobei im Magen, im Duodenum und in der ersten Jejunalschlinge abgesaugt wurde. Unter Sekretinreiz fanden sie bei 17 von 19 Patienten für das Jejunum Mittelwerte von 7,3 (2 - 12) ml/80 Minuten. Die Untersuchung des Jejunal-saftes ließ vermuten, daß es sich nicht um abgeflossenes Duodenalsekret handelt. Trotz der Flüssigkeitsgewinnung im oberen Jejunum wird daher ein Ablauf von Duodenalsekret verneint. Da wir bei kontinuierlicher Absaugung höhere Duodenalsaftvolumina fördern konnten als DREILING und JANOWITZ, scheint unsere Darmsaftgewinnungstechnik

ergiebig zu sein. Es ist nicht anzunehmen, daß ein unterschiedlicher Sondenreiz besteht. Wahrscheinlich konnten DREILING und JANOWITZ auch im Jejunum nicht das gesamte Sekret wiedergewinnen. Hierfür läßt sich als Beweis anführen, daß nach Gabe eines markierten Probestrunkes (HENNING, SCHÖN, RÄSSLER) eine sehr unterschiedliche Rückgewinnungsquote gefunden wird.- Hinsichtlich des Sondenreizes sind die Beobachtungen von SARLES bedeutungsvoll. Er fand eine gleichbleibende Reizwirkung der Sonde in Bezug auf die Pankreassekretion, für die Mipasesekretion konnte er sogar eine progressive Reizwirkung nachweisen. Diese wäre vorstellbar als rein mechanischer Reiz der Duodenalwand, als mechanische Störung des angenommenen Neutralisationsmechanismus der Duodenalschleimhaut (BIRCHER et al.), durch pH-Änderungen im Duodenum als Folge des Absaugvorganges und durch Abfließen von Magensaft entlang der Sonde durch den Pylorus. Einzelne Faktoren oder eine Kombination derselben würden den körpereigenen humoralen Sekretionsmechanismus beeinflussen.

Um Änderungen des Duodenalinhaltcs durch ablaufenden Magensaft zu kontrollieren, wurde bei 15 Patienten mit einer Doppellumensonde simultan Magen- und Darminhalt abgesaugt. Durchschnittlich gewannen wir 3,1 ccm Duodenalsaft und 0,6 ccm Magensaft/Minute. Statistisch konnte gesichert werden, daß mit der Doppellumensonde mehr Duodenalsaft gefördert wurde als mit der einfachen Duodenalsonde. Da die Magensaftbeimischung zum Duodenalsaft bei der Doppelabsaugung sicherlich geringer ist als bei alleiniger Absaugung des Duodenum und da der Strömungswiderstand der einfachen Duodenalsonde um den Faktor 3 geringer ist, wäre eine verminderte Duodenalsaftförderung zu erwarten gewesen. Die Ursache der erhöhten Darmsaftgewinnung könnte eine stärkere Reizwirkung der 2-fachen Absaugung sein. Wahrscheinlich besteht jedoch eine Erschwerung der Flüssigkeitsförderung durch die kleinen Löcher der Metallolive der Duodenalsonde, während die Lumina der Doppellumensonde in 13 bzw. 8 großen Löchern enden.

Die Sekretion des Pankreas und auch der Ausstoß von Galle aus dem Choledochus erfolgt schubweise (CARDIDAL)¹. Eine klinische Bewertung der rhythmischen Sekretionstätigkeit erfolgte bisher nicht. Der Grund hierfür ist wahrscheinlich, daß entsprechende Untersuchungsgeräte noch nicht zur Verfügung standen. Das beschriebene Gerät ermöglicht die Volumenförderung kontinuierlich zu registrieren und bewährte sich bei 15 Patientenuntersuchungen. Die Förderschübe konnten in Größe und Dauer aus den mit dem Vitatron gewonnenen Kurven ermittelt werden. Zu Beginn der Messung, kurze Zeit nach Einführung der Sonde, liegt die Größe des einzelnen Schubes durchschnittlich bei 2 ccm. Im weiteren Verlauf der Messung steigt das Volumen der Einzelschübe dann bis auf 10 - 15 ccm an. Die Größe des Einzelschubes variiert zwischen 1/2 und 20 ccm. Während sich anfänglich die Schübe in Minutenabständen folgen, sind später Pausen von 3 - 5 Minuten die Regel. Es ist auffällig, daß mit der Abnahme der Frequenz der Schübe die Größe des Einzelschubes nahezu umgekehrt proportional ansteigt,

so daß die durchschnittliche Fördergeschwindigkeit über den gesamten registrierten Zeitraum nahezu konstant bleibt. Es entsteht der Eindruck als ob der Organismus auf den neuen Reiz durch die Sonde mit häufigen kleinen Schüben reagiert. Nach 5 - 10 Minuten wird das Kurvenbild dann deutlich ruhiger, die Einzelschübe werden seltener und größer.

Der Sekretionsschub selbst ist das Produkt aus eigentlicher Produktion aus Parenchymzellen und Isthmusepithelien sowie der Speicher- und Austreibungsfunktion des Gangsystemes selbst. Während diese Funktionen für das Gallengangssystem bewiesen sind, wurden sie für das Pankreasgangsystem nur angenommen. Selbstverständlich hat die Sphinkter Oddi-Funktion ebenfalls Einfluß auf diese Parameter. Nach den hier vorgelegten Untersuchungen kann man noch nicht aussagen, ob die Arten des Flüssigkeitsausstoßes für bestimmte Erkrankungen des Gallengangssystemes und des Pankreas typisch sind.

Im Duodenum mischen sich abgelaufener Mageninhalt, Pankreassekret, Sekret der Duodenalwanddrüsen und Galle. Während das Abfließen von Mageninhalt durch simultanes Absaugen im Magen und Duodenum vermindert werden kann, besteht diese Möglichkeit für die Galle nicht. Um den Anteil der Gallebeimengungen zum Duodenalsaft schätzen zu können, erscheint eine kontinuierliche Bilirubinbestimmung während der Absaugung wünschenswert. Im Prinzip einfach ist die photometrische Bestimmung des Bilirubins. Wir verwendeten 2 Photozellen in Kompensationsschaltung, wobei in dem Strahlengang der einen Zelle ein Filter von 560 m μ eingeschoben wurde. Technisch konnte das Problem noch nicht in ausreichendem Maße gelöst werden. Es traten durch Gasbeimengungen, Trübungen, Schleimflocken und kleinen Luftblasen im Duodenalsaft immer wieder Meßfehler auf, die einer klinischen Auswertung entgegenstanden.

DREILING und Mitarbeiter legen bei der Pankreasdiagnostik besonderen Wert auf die Bestimmung der Natriumbikarbonatkonzentration im Pankreassekret.

Verschiedene Methoden können angewendet werden. Am exaktesten ist die manometrische Bikarbonatbestimmung nach van SLYKE. Sie ist relativ umständlich und für Routineuntersuchungen wenig geeignet. Andererseits sind bei diesem Verfahren Fehlerquellen während der Darmsaftgewinnung wenig beachtet worden. Einfach, jedoch weitgehend unspezifisch ist die Alkalititration. Wir untersuchten, auf Vorarbeiten von KOLOKOUSIS und HEINKEL aufbauend, die Bestimmung der durch Säure austreibbaren Kohlenensäuremenge aus kleinen Darmsaftvolumina. Während die Autoren die pH-abhängige Färbung eines Indikators kolorimetrisch verfolgten und bei der Regeneration Schwierigkeiten hatten, wurde bei den vorliegenden Versuchen die Möglichkeit der direkten pH-Messung genutzt.

Die Vorzüge der beschriebenen Methode sind Einfachheit und geringe Störanfälligkeit. Allein die einmalige Aufstellung der Eichkurven erfordert die frische Zubereitung zahlreicher Bikarbonatlösungen. Bei mittlerer Pumpgeschwindigkeit dauert

die Bestimmung weniger als 8 Minuten, wobei nur Anfangs-pH und Endwert aufgezeichnet werden müssen. Bei direkter pH-Schreibung kann die Bestimmung vorzeitig bei Erreichen des Endwertes abgebrochen werden.

Die Methode hat einen Gesamtmeßfehler von $\pm 0,1$ pH. Der entsprechende Fehler in der Bikarbonatkonzentration variiert je nach verwendeter Natronlaugenkonzentration und nach dem gesamten Bikarbonatgehalt der Lösung. Für eine 0,004 n NaOH-Lösung beträgt der Fehler für Bikarbonatwerte unter 30 mval/l 5 mval HCO_3/l . Bei Konzentrationen über 30 mval Bikarbonat/l liegt der Fehler bei 3 mval Bikarbonat/l. Bei Verwendung einer 0,005 n NaOH steigt der entsprechende Fehler auf 8 bzw. 7 mval Bikarbonat/l. Als besonders günstig erweist sich für einen Meßbereich bis 125 mval Bikarbonat/l eine 0,004 n NaOH, die leicht durch Einstellen eines pH-Wertes von pH 10, 25 hergestellt oder kontrolliert werden kann. Bei dieser Methode läßt sich durch Ändern der vorgelegten Natronlaugenkonzentration der Meßbereich von

0 - 125 bis 0 - 200 mval Bikarbonat/l
variieren.

Die Eichkurven brechen auf einer Linie ab, die pH 6,1 entspricht. Lösliches Karbonat ist bei höherer Wasserstoffionenkonzentration nicht stabil und wird als CO_2 ausgetrieben. Die leicht S-förmige Krümmung der Eichkurven entsteht durch die chemische Umsetzung, durch die physikalische Lösung von CO_2 . Beide Vorgänge sind reversibel, es pendelt sich ein von Temperatur, Gasdruck und pH abhängiges Gleichgewicht ein. Durch die physikalische Lösung der Kohlensäure in der Natronlauge entsteht kein zusätzlicher Meßfehler, einerseits ändert sich das pH durch die CO_2 -Lösung in Richtung sauer, andererseits wird unter gleichen Bedingungen immer der gleiche Anteil physikalisch gelöst. Die Eichkurven berücksichtigen also automatisch die chemische Bindung und die physikalische Lösung. Voraussetzung für die Ausnutzung der Meßgenauigkeit ist, daß man den Duodenalsaft unter Luftabschluß gewinnt. Wird

Gas aspiriert, so sollte zusätzlich das CO_2 in Kalilauge aufgefangen werden, um es als Korrektionsfaktor zu bestimmen. Es läßt sich dann theoretisch die produzierte Bikarbonatmenge oder exakter ausgedrückt, der Natriumbikarbonat- und Kohlensäuregehalt des Duodenalsaftes über eine Sammelperiode exakt berechnen.

Die Methode wurde in 80 Einzelbestimmungen geprüft. Der durchschnittliche Bikarbonatwert lag für die sogenannte A-Galle bei 37,0 mval Bikarbonat/l, für die sogenannte B-Galle bei 41,5 mval/l, für Duodenalsekret bei gleichzeitiger Absaugung von Magen und Darm fanden wir 33,0 mval Bikarbonat/l.

Nach DREILING und JANOWITZ beträgt die Bikarbonatkonzentration im Duodenalsekret, ohne Reizung des Pankreas, um 25 mval Bikarbonat/l. Somit lagen unsere Nüchternwerte bei geschlossener Absaugung des Duodenalinhaltes und der oben genannten volumetrisch-potentiometrischen CO_2 -Be-

stimmung über diesem Mittelwert. Nach Gabe von Magnesiumsulfat-Lösung wird vermehrt Galle in das Duodenum entleert. Eine leichte Steigerung der Bikarbonatkonzentration im Duodenalsekret erscheint normal, da Galle nach LAGERLÖF bis zu 40 mval Bikarbonat/l enthält. Bei gleichzeitiger Absaugung von Magen und Darm fand sich im Duodenalsekret ein niedrigerer Bikarbonatgehalt. Die Magensaftbeimischung ist bei diesem Absaugverfahren sicherlich vermindert, die Gefahr der Säuerung des Duodenalsekretes geringer, so daß eigentlich ein höherer Bikarbonatanteil zu erwarten gewesen wäre. Die niedrigere Konzentration kann daher nur so erklärt werden, daß durch Fehlen des Magensaftes im Duodenum die körpereigenen Reizmechanismen des Pankreas weniger aktiv sind.

Nach Gabe von Sekretin förderten DREILING und JANOWITZ bei einer Absaugung über 80 Minuten bei gesunden Patienten durchschnittlich 270 ml Duodenalsekret mit einer maximalen Bikarbonatkonzentration von 111 mval/l. HENKE et al. fanden nach Sekretin-

reiz Normalwerte über 60 mval Bikarbonat/l.
Die Diskrepanz zwischen den beiden Untersuchungsgruppen könnte in einer unterschiedlichen Methodik gesehen werden. Gegenüber unseren Werten beim nicht gereizten Pankreas bewirkt der Sekretinreiz eine Erhöhung der Bikarbonatkonzentration auf das 2- bis 3-fache und eine 3-fach größere Sekretmenge.

DREILING und JANOWITZ fanden nach Sekretengabe einen Zusammenhang zwischen dem Volumen des Duodenalsekretes und der Bikarbonatkonzentration. Bei chronischer Pankreatitis und beim Pankreaskopfcarcinom sind die Werte deutlich erniedrigt. Nach unseren Untersuchungen besteht beim nicht stimulierten Pankreas keine Korrelation zwischen Sekretvolumen und Bikarbonatkonzentration. Eine Erklärung dieser Diskrepanz kann aus den vorliegenden Resultaten nicht abgeleitet werden.

Die klinische Pankreasdiagnostik, insbesondere die Leistungsprüfung der Bauchspeicheldrüse stößt methodisch immer noch auf Schwierigkeiten. Während

man die Enzymdiagnostik weitgehend normieren konnte, bestehen hinsichtlich der Technik zur Gewinnung des Duodenalinhaltes erhebliche Unterschiede. Zahlreiche, wenig beachtete Faktoren haben jedoch einen beachtenswerten Einfluß auf das Gesamtergebnis, insbesondere wenn man die Leistung des Organes aus der Mengenproduktion von Substanzen beurteilt. Einige dieser Faktoren werden in der vorliegenden Arbeit näher untersucht.

Zusammenfassung

Zur intraduodenalen Funktionsdiagnostik wird Duodenalsaft abgesaugt und seine Zusammensetzung analysiert. Eine bessere quantitative Erfassung des Duodenalinhaltes ist bei kontinuierlichem Absaugen zu erwarten. Es wurde ein Gerät konstruiert, das erlaubt kontinuierlich Sekret mit regelbarem Druck abzusaugen, den geförderten Darmsaft gekühlt unter Luftabschluß zu speichern und die angesaugten Volumina über den Sammelzeitraum zeitgerecht aufzuzeichnen.

In Modellversuchen wird der Einfluß verschiedener Parameter auf die Fördergeschwindigkeit von Sonden untersucht. Es konnte gezeigt werden, daß die Sauggeschwindigkeit proportional ist dem Saugdruck, umgekehrt proportional der Länge der Sonde. Mit zunehmendem SONDENDURCHMESSER und abnehmender Viskosität steigt die Sauggeschwindigkeit an. An 2 Patientenkollektiven wurde die Funktion des Sauggerätes geprüft. Statistisch signifikant war, daß mit der Saugapparatur das doppelte an Duodenal-

samt gefördert wird als durch Ablaufenlassen und manuelle Absaugung. Bei simultaner Gewinnung von Magen- und Darmsaft mit dem Sauggerät wurde aus dem Duodenum ebenfalls signifikant mehr Flüssigkeit gewonnen als durch Absaugung von Hand. Es muß angenommen werden, daß bei den bisherigen Gewinnungsverfahren ein Teil des Duodenalinhaltes nicht erfaßt wurde und nach unten in den Darm abfloß.

Das Sauggerät ermöglichte eine direkte Aufzeichnung der geförderten Darmsaftvolumina in Abhängigkeit von der Zeit. Die gewonnenen Kurven zeigen eine schubweise Förderung, wobei zu Beginn die Einzelschübe kleiner und häufiger sind als im weiteren Verlauf. Die mittlere Fördergeschwindigkeit bleibt über den Förderzeitraum praktisch konstant.

In dem gewonnenen Duodenalsekret wurde die Bikarbonatkonzentration bestimmt. Es wird eine Analyseapparatur und ein Verfahren beschrieben, das eine einfache und genaue Messung der durch Säure

austreibbaren Kohlensäure gestattet. Für verschiedene NaOH-Konzentrationen werden Eichkurven angegeben und die Fehlerbreite ermittelt. Sie liegt unter ± 5 mval/l. Der durchschnittliche Bikarbonatgehalt lag bei manueller Darmsaftgewinnung niedriger als bei der Absaugung mit dem Sauggerät unter Luftabschluß, so daß Kohlensäureverluste bei dem offenen Absaugeverfahren angenommen werden müssen. Bei gleichzeitiger Absaugung von Magen- und Duodenuminhalt wurden niedrigere Bikarbonatwerte gemessen als bei einfacher Absaugung aus dem Duodenum. Es ist anzunehmen, daß abgeflossener Magensaft im Duodenum die körpereigenen Sekretionsmechanismen des Pankreas anregt.

Die Leistungsprüfung der Bauchspeicheldrüse stößt methodisch immer noch auf Schwierigkeiten. Zahlreiche Faktoren haben einen deutlichen Einfluß auf das Gesamtergebnis. Einige dieser Faktoren wurden in der vorliegenden Arbeit näher untersucht.

Literatur

Bircher, J. Mann, Ch.V., Carlson, H.C. Code, Ch.F. and Rovelstad, R.A.: Intraluminal and juxtamucosal duodenal pH. Gastroenterology 48 (1965) 472

Bockus, H.L.: Zur Entwicklung der Gastroenterologie in den Vereinigten Staaten von Amerika. Z. Gastroenterologie 4 (1965) 125

Documenta Geigy Z.R. Geigy A.G. Basel, Basel (1955) Teil Statistik, 27

Dreiling, D.A. and H.D. Janowitz: The measurement of pancreatic secretory function. In the exocrine pancreas. Ciba Foundation Symposium, London (1962) 225

Einhorn, M.: The duodenal tube as a factor in the diagnosis at treatment of gallbladder disease J.A.M.A. 67 (1916) 1908

Harper, A.A. and Raper, H.S.: Pancreozymin a stimulant of the secretion by pancreatic enzymes in extracts of the small intestine. J. physiol. (London) 102 (1943) 115

Henke, W.J., J.B. Vacca, G.E. van Goidsenhoven and W.A. Knight jr.: Evaluation of pancreatic function tests in conformed pancreatic diseases. Gastroenterology 41 (1961) 233

Janowitz, H.D. and D.A. Dreiling: The pancreatic secretion of fluid and electrolytes. In: The exocrine pancreas. Ciba Foundation Symposium London (1962) 115

Lagerlöf, H.: Discussion "the pancreatic secretion of fluid and electrolytes. In: The exocrine pancreas. Ciba Foundation Symposium, London (1962) 136

Sarles, H., M. Mercadier: Les pancreatites chroniques de l'adulte. L'Expansion Scientifique Francaise, Paris (1960) 164

Sarles, H.; M. Mercadier: Les pancreatites chroniques de l'adulte L'Expansion. Scientifique Francaise, Paris (1969) 11

Schön, H. B. Rässler und N. Henning: Über die exkretorische Pankreasfunktion. Klin. Wschr. 39 (1961) 217 und 40 (1962) 1518

Sickinger, K., E. Fiedler, M. Bokermann und J. Emmrich: Erleichterung der Duodenal- und Jejunalsondierung mit einem Modifikator der Magen- und Duodenalperistaltik (Metoclopramid) Med. Kl. München (1965) 2056; 60

Siemens und Halske AG, München. Technische Mitteilungen, Spannungsstabilisation I, II, III.

Herrn Professor Dr. med., Dr. med. h.c.
Henning, Professor emeritus der Medizinischen
Universitäts-Klinik Erlangen, bin ich zu
großem Dank verpflichtet, da er mir die Ge-
legenheit bot in einem wissenschaftlichen
Labor, unter Anleitung von Herrn Professor
Dr. med. K. Heinkel, zu arbeiten.

Herrn Professor Dr. med. K. Heinkel danke
ich ganz besonders für die Themenstellung,
die stetige Unterstützung und Beratung während
der Durchführung der Untersuchungen und die
Anleitung zur Zusammenstellung der vor-
liegenden Arbeit.

Lebenslauf

Ich, Uwe Kleen, wurde am 23. September 1936 als Sohn des Physikers, Professor Dr. Werner Kleen und seiner Ehefrau Johanna, geb. Roos, in Berlin geboren. Bis 1949 besuchte ich die Volksschule, dann in Madrid und München die Oberschule. Anschließend studierte ich an der Technischen Hochschule München 5 Semester Chemie, wechselte das Studienfach und begann in Tübingen mit dem Medizinstudium. Nach dem Vorphysikum studierte ich in Erlangen weiter und legte dort das Physikum mit der Note sehr gut ab. Im Juli 1965 bestand ich in Erlangen nach 10-semesterigem Medizinstudium das Staatsexamen mit der Note gut. Seitdem arbeite ich als Medizinalassistent unter Herrn Professor Dr. med. K. Heinkel in der Klinik für innere Krankheiten, Sanatorium Frankenland in Bad Windsheim.

Offsetdruck - Fotodruck

-J. Hög l, 8520 Erlangen, Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Telefon 22990 -